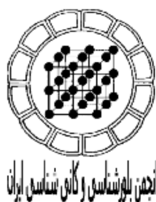
مجله
بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ اول، بهار ۹۹، از صفحهٔ ۲۵۹ تا ۲۶۶



بررسی ویژگی‌های ساختاری و الکتریکی لایه‌های نازک پنتااکسید وانادیوم آلاییده با ایندیوم تهیه‌شده به روش گرما کافت افشانه‌ای

راحله پیله‌ور شهری، سونیا شافعی، شکوفه طباطبائی یزدی *

گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۲/۱۴، نسخه نهایی: ۹۸/۵/۲۶)

چکیده: نانوساختارهای پنتااکسید وانادیوم آلاییده با درصدهای وزنی مختلف ایندیوم (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰at.% در محلول) به روش گرما کافت افشانه‌ای (اسپری پایرولیزیز) تهیه شدند. لایه‌های نازک تهیه شده به کمک پراش پرتو ایکس(XRD)، تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آزمایش اثر هال مشخصه‌یابی شدند. نتایج XRD نشان داد که لایه های نازک در فاز چارگوشی بلوری می‌شوند. افزایش مقدار ایندیوم به‌شدت منجر به افزایش بی‌نظمی نانوساختارها و کاهش اندازه بلورک‌ها شده به طوری که اندازه بلورک‌ها با افزودن ۳۰٪ وزنی ایندیوم به پنتااکسید وانادیوم تا بیش از ۵۰٪ نسبت به نمونه خالص کاهش یافته است. تصاویر SEM لایه‌ها را نانوساختارهای تک‌فاز تشکیل شده از نانومیله و نانوتسمه‌هایی با پهنای متوسط nm ۱۰۰-۵۰ نشان داد. اندازه‌گیری‌های اثر هال نشان داد که نمونه‌های مورد بررسی همه نیمرسانای نوع n هستند و مقاومت آنها با افزایش ایندیوم افزایش یافته است که این را نیز می‌توان به افزایش بی‌نظمی ساختاری نمونه‌ها نسبت داد.

واژه های کلیدی: *نانوساختارهای پنتااکسید وانادیوم؛ ایندیوم؛ اسپری پایرولیزیز؛ لایه نازک نیمرسانای شفاف.*

مقدمه

اکسیدهای وانادیوم با ظرفیت‌های گوناگون خود شامل VO، VO_2، V_2O_3 و V_2O_5 به دلیل داشتن ویژگی‌های جالب-توجه از جمله گاف نوری به نسبت بزرگ، ساختار لایه‌ای، پایداری گرمایی و شیمیایی خوب، خواص برجسته الکتروکرومیک، ترموکرومیک و ترموالکتریکی، بسیار مورد توجه پژوهشگران هستند [۲،۱]. این ترکیبات به‌ویژه در حالت لایه نازک ماده مناسبی برای کاربردهای صنعتی چون حسگرهای گازی، سیستم‌های نمایشگر، وسایل کلیدزنی اپتیکی و الکتریکی، قطعات الکتروکرومیک، صافی‌های رنگی و پنجره‌های هوشمند هستند [۳-۵] و از این‌رو در سال‌های اخیر موضوع پژوهش‌های گسترده‌ای بوده‌اند. در میان ترکیبات مختلف اکسید وانادیوم، پنتااکسید وانادیوم، V_2O_5، اکسید اشباع شده با بالاترین حالت اکسایشی و پایدارترین آنهاست. پنتااکسید وانادیوم یک نیمرسانای نوع n با گاف نوری مستقیم و پهن حدود ۲/۴ الکترون ولت در ناحیه مرئی طیف بوده [۶]، دارای ساختار لایه‌ای، پایداری شیمیایی و گرمایی خوبی است و ازاین‌رو برای کاربردهای اپتوالکترونیک، از جمله آشکارسازی نوری و کلیدزنی فوتوالکتریکی سریع مورد توجه است [۸،۷].

دیده شده است که ویژگی‌های مختلف V_2O_5 با ورود برخی کاتیون‌های مهمان تغییر می‌کند. ازاین‌رو، پژوهشگران به طور گسترده بر ساخت و مشخصه‌یابی الکتریکی، اپتیکی، الکتروشیمیایی و الکتروکرومیک لایه‌های نازک V_2O_5 در حضور آلاینده‌هایی چون نیکل، منگنز، فلوئور، تیتانیوم، تانتالوم، گوگرد، قلع، منیزیوم و مولیبدن متمرکز شده‌اند. برای مثال، گزارش شده است که افزودن Ag، Al، Na، Cu و Fe به V_2O_5 باعث بهبود ویژگی‌های الکتروشیمیایی آن می‌شود [۹-۱۳]. همچنین دیده شده است که اکسیدهای وانادیوم

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۵۱۳۸۷۶۳۶۴۷، پست الکترونیکی: sh_tabatabai3@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.18.8]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.259]

آلاییده با Ag و Na گاف نواری کمتری نسبت به V_2O_5 دارند [۱۳]. یو و همکاران تاثیر ناخالصی منگنز را بر لایه‌های نازک پنتااکسید وانادیوم به کار رفته در باتری‌های لیتیوم بررسی نمودند و افزایش بازده در حضور ناخالصی را مشاهده کردند [۱۴]. جیلاکشمی و همکاران ویژگی‌های ساختاری و الکتروشیمیایی لایه‌های نازک V_2O_5 را در حضور ناخالصی نیکل بررسی نمودند و بهبود ۲۰ درصدی ظرفیت خازنی و چگالی انرژی را مشاهده کردند [۱۵]. جاسم و همکاران نیز رسانش الکتریکی و اپتیکی لایه‌های نازک V_2O_5 در حضور ناخالصی‌های Nd و Ce را آزمایش کردند [۱۶]. اعتمادی و همکاران پنتااکسید وانادیوم با ناخالصی سریوم را به روش سل ژل تهیه نمودند و نشان دادند که افزایش ناخالصی سریوم باعث بهبود رفتار الکتروشیمیایی V_2O_5 می‌شود [۱۷]. موسوی و همکاران نیز ویژگی‌های فیزیکی مختلف لایه‌های نازک پنتااکسید وانادیوم در حضور آلاینده‌های گوگرد و فلوئور را بررسی کردند [۱۹،۱۸].

بر اساس بررسی‌های انجام شده، تا کنون پنتااکسید وانادیوم در حضور ناخالصی ایندیوم تهیه و بررسی نشده است. در این پژوهش برای نخستین بار، پنتااکسید وانادیوم آلاییده با ایندیوم به روش گرما کافت افشانه‌ای (اسپری پایرولیز) که یک روش به نسبت ساده و مقرون به صرفه است تهیه شد و اثر In بر ویژگی‌های ساختاری و الکتریکی این ترکیب بررسی گردید.

روش تجربی

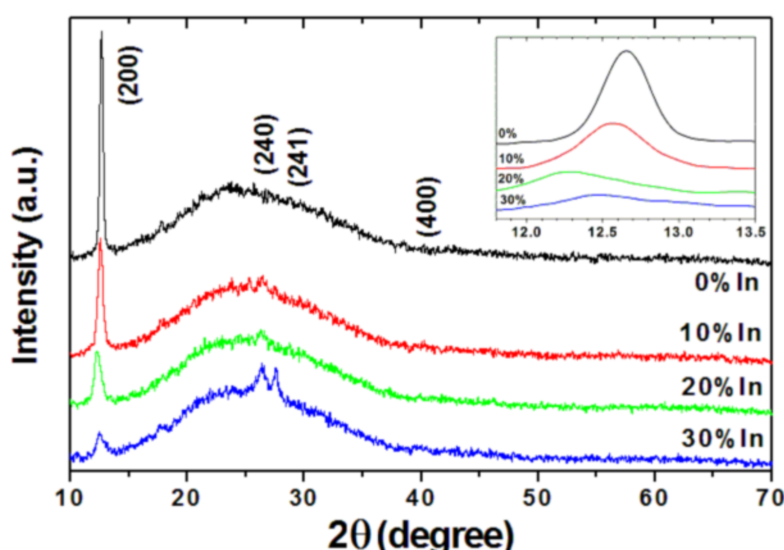
در این پژوهش، لایه‌های نازک پنتااکسید وانادیوم خالص و آلاییده با ایندیوم (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰at.% در محلول) به روش تجزیه گرمایی افشانه‌ای (اسپری پایرولیز) نهشته شدند. برای تهیه محلول اولیه ۰/۱ مولار، مقدار مناسب کلرید وانادیوم (VCl_3) در آب مقطر به خوبی حل شد و به منظور انحلال بهتر، چند قطره اسید هیدروکلریک (HCl) به محلول اضافه شد. پس از تهیه محلول پایه، ایندیوم با درصدهای وزنی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ به آن اضافه شد. محلول‌ها با آهنگ ml/min ۵ بر لام‌های شیشه‌ای بر صفحه چرخان با سرعت ۴۵ دور در دقیقه و دمای °C ۴۳۰ در فاصله cm ۳۵ از نازل پاشیده شدند. به منظور لایه‌نشانی یکنواخت‌تر، از هوا با فشار atm ۲/۵ به عنوان گاز حامل استفاده شد.

به منظور بررسی فاز و ساختار بلوری لایه‌ها، طیف پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه‌ها در گستره زاویه‌ای $2\theta =$ ۱۰-۷۰° با دستگاه D8-Advance Bruker با تابش Cu-Kα با طول موج ۰/۱۵۴۰۶ نانومتر تهیه شد. برای بررسی ریزساختار نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل LEO1450VP مجهز به طیف‌سنج انرژی پاشیده پرتوی ایکس (EDX) استفاده شد. مشخصه‌های الکتریکی لایه‌ها نیز به کمک آزمایش اثر هال بر نمونه‌های الکترودگذاری شده با آلومینیوم به روش تبخیر گرمایی انجام شد.

بحث و بررسی

مشخصه‌های ساختاری لایه‌ها

شکل ۱ الگوهای پراش پرتو ایکس نانوساختارهای پنتااکسید وانادیوم آلاییده با درصدهای وزنی متفاوت ایندیوم را نشان می‌دهد. چهار قله آشکار شده در الگوهای XRD، هرچند برخی شدت کمی دارند، با قله‌های براگ (۲۰۰)، (۲۴۰)، (۲۴۱) و (۴۰۰) گزارش شده برای فاز چارگوشی β-V_2O_5 (کارت JCPDS به شماره ۱۰۷۴-۰۴۵-۰۰) و کارهای دیگران [۲۰] همخوانی دارند. هیچ قله‌ای مربوط به مواد اولیه یا فاز ثانویه در طیف‌های XRD دیده نمی‌شود که نشان‌دهنده تشکیل لایه‌های بسبلور تک‌فاز β-V_2O_5 با ساختار چارگوشی است. چنانکه دیده می‌شود، ساختار لایه‌ها با افزودن ایندیوم حتی تا ۳۰٪ وزنی تغییر نکرده است. بیشتر بودن شدت قله پراشی (۲۰۰) در نمونه پنتااکسید وانادیم خالص و نمونه‌های آلاییده با ایندیوم تا ۲۰٪ وزنی رشد این نمونه‌ها در راستای ترجیحی (۲۰۰) و تشکیل یک ساختار لایه‌ای را نشان می‌دهد. در حالی که ایندیوم ساختار بلوری لایه‌ها را تغییر نداده اما اثر افزودن ایندیوم به صورت کاهش قابل‌ملاحظه شدت این قله پراشی و به عبارتی، افت بلورینگی دیده می‌شود. کاهش نظم بلوری را می‌توان با انتقال اتم‌های وانادیوم به جایگاه‌های بین‌شبکه‌ای در اثر افزایش جانشانی ایندیوم توضیح داد. افزون بر این، اثر افزودن ایندیوم به صورت تغییر تدریجی راستای آسان رشد از (۲۰۰) به سمت (۲۴۰) نیز آشکار شده است. در لایه‌های با مقدار آلایش کم (کمتر از ۲۰٪ وزنی)، قله (۲۰۰) غالب است که به نظم بهتر اتم‌ها در این صفحه اشاره دارد. با افزایش مقدار ایندیوم، شدت قله (۲۰۰) و به عبارتی توزیع فضایی سمت-گیری بلورک‌ها در راستای (۲۰۰) کاهش می‌یابد، به طوری که قله‌های (۲۰۰)، (۲۴۰) و (۲۴۱) با شدت نزدیک به هم ظاهر می‌شوند. این نشان‌دهنده وجود صفحات ارجح برای اشغال توسط اتم‌های ایندیوم است.



شکل ۱ طیف XRD لایه‌های پنتا اکسید وانادیوم با درصدهای مختلف ایندیوم. تصویر داخلی نمای بزرگ‌شده قله (۲۰۰) در گستره 2θ = °۱۳٫۵-۱۱٫۸ را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۱، دیده می‌شود که با افزایش مقدار ایندیوم، افزون بر کاهش شدت قله پراش اصلی (۲۰۰)، پهنای آن نیز افزایش یافته است. افزایش پهنای قله به کاهش اندازه بلورک‌ها اشاره دارد. میانگین اندازه بلورک‌ها (D) بر اساس داده‌های طیف‌های XRD و با استفاده از رابطه شرر تعیین شد [۲۱]:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta\cos\theta} \quad (۱)$$

که در این رابطه، K ثابت شرر یا ضریب شکل بلور است که در اینجا ۰٫۹ در نظر گرفته شد و λ طول‌موج پرتو ایکس به کار رفته مربوط به تابش CuKα برابر با ۰٫۱۵۴ nm، θ زاویه یک پراش اصلی (در اینجا (۲۰۰)) و β پهنای آن قله در نیم‌ارتفاع بیشینه برحسب رادیان است. به این ترتیب، دیده شد که لایه های V_2O_5 تهیه شده نانوبلورین هستند و متوسط اندازه دانه-های آنها nm ۲۵-۱۱ است. اندازه متوسط بلورک‌ها که به این ترتیب برآورد شده‌اند در جدول ۱ ارائه شده است. دیده می‌شود که افزودن ایندیوم به لایه‌های پنتااکسید وانادیوم موجب کاهش اندازه بلورک‌ها و به عبارتی مانع رشد بلور شده است. اعتمادی و همکاران نیز کاهش اندازه بلورک‌های V_2O_5 را با آلایش یون سریوم مشاهده کردند [۱۷].

چگالی دررفتگی‌ها (طول دررفتگی در واحد حجم) که معیاری از مقدار نقایص بلوری است از رابطه $\delta = 1/D^2$ [۲۲] محاسبه شد. مقادیر به دست آمده در جدول ۱ گزارش شده‌اند. دیده می‌شود که با افزایش مقدار ایندیوم، چگالی دررفتگی‌ها در لایه‌ها افزایش می‌یابد که این با کاهش اندازه بلورک‌ها و به عبارتی افت بلورینگی همخوانی دارد.

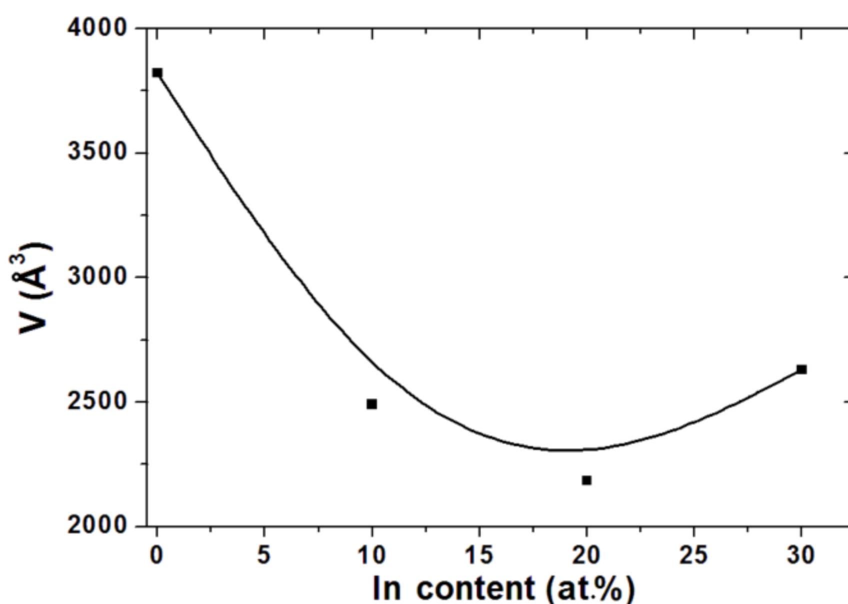
جدول ۱ داده‌های XRD و مشخصه‌های ساختاری لایه‌های نازک پنتااکسید وانادیوم آلاییده با مقادیر مختلف ایندیوم.

نمونه	hkl	2θ (°)	d (Å)	D (nm)	δ (line/Å²)	ثابت شبکه (Å)	V (Å³)
V_2O_5	(۲۰۰) (۲۴۱)	۱۲٫۷ ۲۸٫۹	۶٫۹۹ ۳٫۰۹	۲۵	۰٫۴۹۸	a =۱۳٫۹۸ c = ۱۹٫۵۶	۳۸۲۲٫۸۳
V_2O_5:In۱۰at.%	(۲۰۰) (۲۴۱)	۱۲٫۴ ۲۸٫۹	۷٫۱۳ ۳٫۰۹	۱۷	۱٫۰۵۰	a =۱۴٫۲۷ c =۱۲٫۲۳	۲۴۹۰٫۴۰
V_2O_5:In۲۰at.%	(۲۰۰) (۲۴۱)	۱۲٫۳ ۲۹٫۰	۷٫۱۹ ۳٫۰۸	۱۳	۲٫۰۲۲	a =۱۴٫۳۸ c =۱۰٫۵۶	۲۱۸۳٫۶۰
V_2O_5:In۳۰at.%	(۲۰۰) (۲۴۱)	۱۲٫۵ ۲۹٫۰	۷٫۰۸ ۳٫۰۸	۱۱	۲٫۵۳۲	a =۱۴٫۱۵ c =۱۳٫۱۳	۲۶۲۸٫۹۳

اثر دیگر آلایش ایندیوم در لایه‌های V_2O_5 از نمای بزرگ-شده قله‌های پراشی به صورت جابه‌جایی جزئی زاویه پراش روشن می‌شود. تصویر داخلی شکل ۱ نمای بزرگ‌شده قله پراشی اصلی (۲۰۰) را در گستره زاویه‌ای 2θ = ۱۱٫۸-۱۳٫۵° نشان می‌دهد. چنانکه دیده میشود، با افزودن ایندیوم به ساختار V_2O_5، قله‌های پراشی نخست (تا ۲۰٪ وزنی) کمی به سمت زاویه‌های کوچکتر و سپس با افزایش بیشتر ایندیوم (بیش از ۲۰٪ وزنی) به سمت زاویه‌های بزرگتر جابه‌جا می-شوند. تغییر در مکان قله‌ها نشان‌دهنده تغییر در فواصل بین-صفحه‌ای (d) یا به عبارتی تغییر در حجم یاخته بلوری است. این بدین معناست که با آلایش ایندیوم، نخست حجم یاخته یکه کاهش می‌یابد تا در لایه V_2O_5 با حدود ۲۰٪ وزنی ایندیوم کمینه می‌شود و سپس با آلایش بیشتر لایه‌ها (تا ۳۰٪ وزنی) حجم یاخته یکه آنها افزایش می‌یابد. ثابت‌های شبکه a و c نمونه‌های مورد بررسی بر اساس فاصله دسته صفحات با شاخص میلر (*hkl*) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شدند [۲۰]:

$$\frac{1}{d^2}=\frac{h^2+k^2}{a^2}+\frac{l^2}{c^2} \quad (۲)$$

ثابت‌های شبکه بلوری لایه‌های V_2O_5 خالص و آلاییده با ایندیوم در جدول ۱ ارائه شده‌اند. حجم یاخته یکه چارگوشی نیز بر اساس $V = a^2c$ محاسبه شد که مقادیر آن در جدول ۱ آورده شده و تغییرات آن بر حسب مقدار ایندیوم در ساختار V_2O_5 در شکل ۲ رسم شده است. چنانکه دیده می‌شود با آلایش ایندیوم، نخست حجم یاخته یکه کاهش می‌یابد تا در لایه V_2O_5 با حدود ۲۰٪ وزنی ایندیوم کمینه می‌شود و سپس با آلایش بیشتر لایه‌ها (تا ۳۰٪ وزنی) حجم یاخته یکه آنها افزایش می‌یابد. این رفتار که برای لایه‌های SnO_2 آلاییده با Cr نیز دیده شده است [۲۳] می‌تواند به تفاوت سازوکارهای جانشانی ایندیوم در ساختار V_2O_5 برای مقادیر کمتر (کمتر از ۲۰٪ وزنی) و بیشتر ایندیوم اشاره داشته باشد. ایندیوم دارای حالت اکسایشی ۳+ است؛ جانشانی V^{+5} با آن، منجر به حذف برخی یون‌های اکسیژن از ترکیب برای ایجاد تعادل بار الکتریکی می‌شود. از آنجا که یون اکسیژن (با شعاع یونی Å ۱٫۴۲ – ۱٫۳۵) بزرگتر از یون‌های وانادیم (Å ۰٫۵۴) و ایندیوم (Å ۰٫۸۰) است [۲۴]، این امر می‌تواند موجب کاهش حجم شبکه شود. این در حالی است که دلیل انبساط جزئی شبکه در اثر آلایش مقادیر بیشتر ایندیوم (بیش از ۲۰٪ وزنی) می‌تواند اشغال جایگاه‌های بین‌شبکه‌ای باشد. از طرفی، تهیجاهای اکسیژن ایجاد شده در اثر ورود یون‌های ایندیوم می‌توانند منجر به بی‌نظمی ساختاری شوند که انبساط یک نتیجه احتمالی آن است.



شکل ۲ تغییرات حجم یاخته یکه در لایه‌های پنتا اکسید وانادیوم با مقادیر مختلف ایندیوم.

ریخت‌شناسی و تجزیه عنصری سطح لایه‌ها

تصاویر تهیه شده از سطح لایه‌های با مقادیر مختلف اینديوم با میکروسکوپ الکترونی روبشی در شکل ۳ آورده شده‌اند. این تصاویر اثر افزودن اینديوم به ساختار را به صورت افزایش بی-نظمی نشان می‌دهند. چنانکه دیده می‌شود، لایه‌ها از نانوساختارهایی به شکل نانومیله و نانوتسمه تشکیل شده‌اند که با افزایش ناخالصی، اندازه نانومیله‌ها و نانوتسمه‌ها کاهش یافته و پهنای متوسط آنها از ۱۰۰ به ۵۰ نانومتر رسیده است.

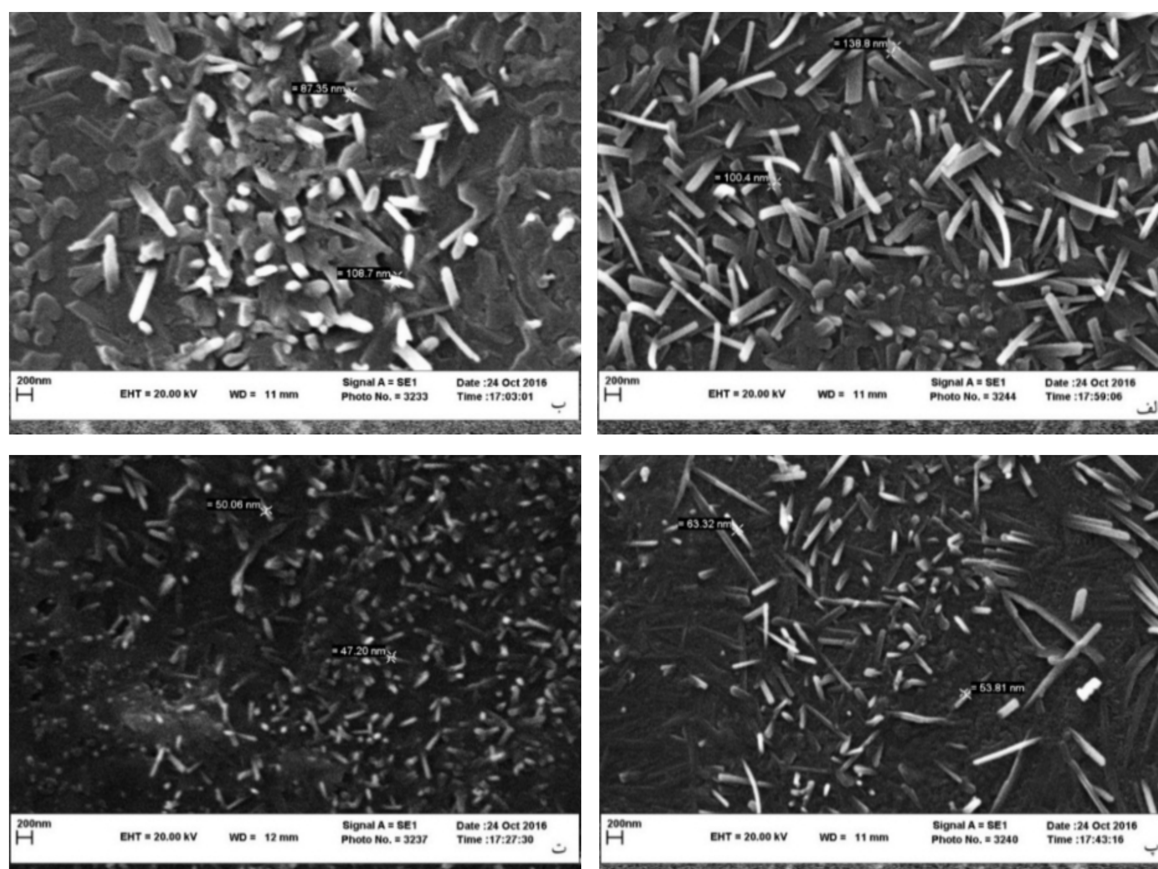
طیف‌های EDX لایه‌ها با نشان دادن قله‌های مربوط به V، O و In، تشکیل فاز V_2O_5:In را تأیید می‌کنند. طیف EDX مربوط به لایه پنتااکسید وانادیوم آلاییده با ۳۰٪ وزنی اینديوم، برای نمونه، در شکل ۴ آورده شده است.

ویژگی‌های الکتریکی لایه‌ها

با انجام آزمایش هال مشخص شد که لایه‌های مورد بررسی همه نیمرسانای نوع n بوده و حامل‌های بار اکثریت آنها الکترون‌ها هستند که چگالی آنها با اندازه‌گیری ولتاژ هال (V_H) و با استفاده از رابطه زیر تعیین شد [۲۵]:

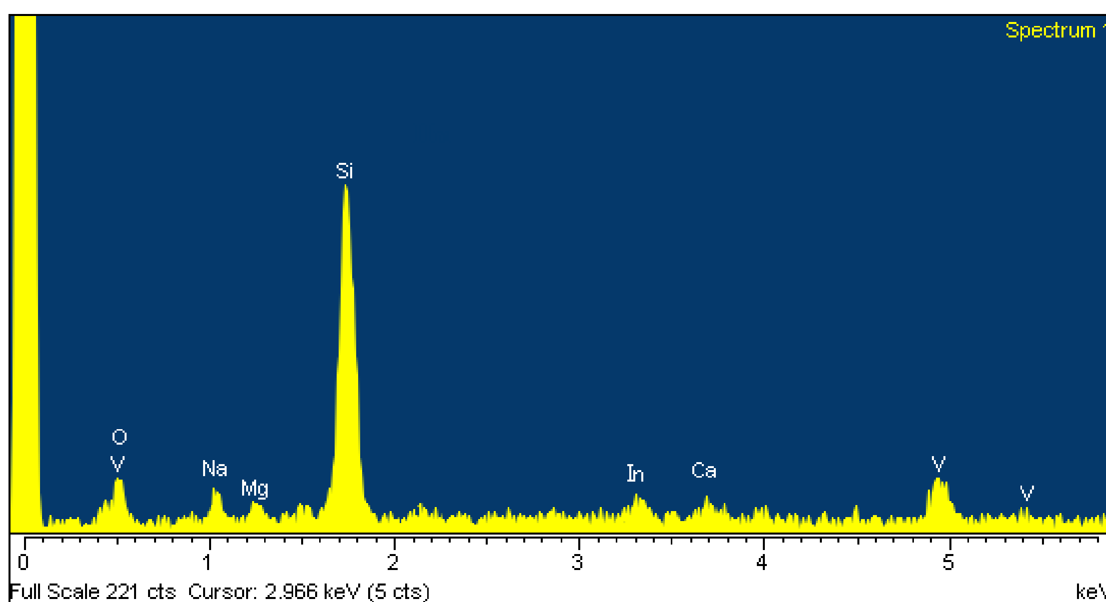
$$V_H = \frac{IB}{ent} \qquad (۳)$$

در این رابطه، n چگالی حامل‌ها، I جریان الکتریکی طولی، B میدان مغناطیسی اعمالی، در اینجا T ۰/۵، t ضخامت لایه و e بار الکتریکی الکترون است. ضخامت لایه‌ها بر اساس اندازه-گیری‌های اپتیکی تعیین شد (در آینده منتشر خواهد شد) که مقادیر به‌دست آمده در جدول ۲ ارائه آورده شده‌اند. چگالی الکترون‌ها به همراه مقاومت ورقه‌ای (R_s) و مقاومت ویژه (ρ) لایه‌ها که به روش دوسوزنی استاندارد در دمای اتاق اندازه‌گیری شدند در جدول ۲ ارائه شده‌اند. دیده می‌شود که مقاومت‌ویژه نمونه‌ها با افزایش درصد وزنی آلاینده اینديوم افزایش می‌یابد که این را می‌توان به افزایش بی‌نظمی ساختاری، در نتیجه کاهش اندازه دانه‌ها و بی شکل (آمورف شدن) ساختار نسبت داد.



شکل ۳ تصاویر SEM لایه‌های پنتااکسید وانادیوم الف) خالص، ب) با ۱۰، پ) ۲۰ و ت) ۳۰ درصد وزنی اینديوم.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.18.8]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.259]



شکل ۴ طیف EDX لایه پنتااکسید وانادیوم با ۳۰ درصد وزنی ایندیوم در محلول.

جدول ۲ ویژگی‌های الکتریکی لایه‌های نازک پنتااکسید وانادیوم آلاییده با مقادیر مختلف ایندیوم، به همراه ضخامت آنها.

$n(10^{20}\ m^{-3})$	$\rho(\Omega.cm)$	$R_s(\Omega)$	t(nm)	نمونه
۳٫۳	۳۲٫۶۲	$۱٫۴\times۱۰^{۶}$	۲۳۳	$V_۲O_۵$
۳٫۵	۶۳٫۸	$۲٫۹\times۱۰^{۶}$	۲۲۰	$V_۲O_۵$:In۱۰at.%
۳٫۳	۶۶٫۹۹	$۲٫۹\times۱۰^{۶}$	۲۳۱	$V_۲O_۵$:In۲۰at.%
۳٫۵	۶۳٫۸	$۲٫۹\times۱۰^{۶}$	۲۲۰	$V_۲O_۵$:In۳۰at.%

برداشت

لایه‌های نازک نانوساختاری پنتااکسید وانادیوم خالص و آلاییده با ایندیوم با درصدهای وزنی ٪۱۰، ٪۲۰ و ٪۳۰ در محلول به روش تجزیه گرمایی افشانه‌ای (اسپری پایرولیز) بر بستر شیشه‌ای در دمای ۴۳۰ °C و غلظت محلول اولیه ۰٫۱ mol/lit و آهنگ لایه‌نشانی ۵ ml/min تهیه شدند. با استفاده از الگوهای پراش پرتو ایکس، تشکیل لایه‌های بسبلور فاز β-V_2O_5 با ساختار چارگوشی تایید شد. نتایج بررسی‌های ساختاری و ریزساختاری نشان داد که لایه‌ها از نانومیله‌ها و نانوتسمه‌های با قطر nm ۱۰۰-۵۰ تشکیل شده‌اند و افزایش ایندیوم منجر به افزایش بی‌نظمی و کاهش اندازه بلورک‌ها تا بیش از ٪۵۰ شده است. مقاومت ویژه لایه‌ها نیز با حضور ایندیوم افزایش یافته است که این را می‌توان به افزایش بی‌نظمی نسبت داد.

مراجع

[1] Xu Y., Schoonen M.A., “*The absolute energy positions of conduction and valence bands of selected semiconducting minerals*", Am. Mineral. 85 (2000) 543-556.

[2] Luo Z., Wu Z., Xu X., Du M., Wang T., Jiang Y., “*Impact of substrate temperature on the microstructure, electrical and optical properties of sputtered nanoparticle V_2O_5 thin films*”, Vacuum85 (2010) 145-150.

[3] Ramana C.V., Hussain O.M., Srinvasalu Naidu B., Julien C., Balkanski M., “*Physical investigations on electron-beam evaporated*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.18.8]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.259]

of pulsed-laser deposited V_2O_5 Thin films", J. Mater. Process.Technol **209** (2009) 2421–2427.

[14] Yu D.M., Zhang S.T., Liu D.W., Zhou X.Y., Xie S.H., Zhang Q.F., Liu Y.Y., Cao G.Z., "*Effect of manganese doping on Li-ion intercalation properties of V_2O_5 films*", J. Mater. Chemi. 20 (2010) 10841-10846.

[15] Jeyalakshmi K., Vijayakumar S., Purushothaman K.K., Muralidharan G., "*Nanostructured nickel doped β-V_2O_5 thin films for supercapacitor applications*", Mater. Res. Bull. 48 (2013) 2578-2582.

[16] Jassim I. K., Rzaij J.M., Ali I. M., Ibrahim I. M., "*Influence of Nd and Ce doping on the structural, optical and electrical properties of V_2O_5 thin films*", Iraqi J. Phys. 14 (2016) 73-82.

[17] Etemadi B., Mazloom J., Ghodsi F.E., "*Phase transition and surface morphology effects on optical, electrical and lithiation/delithiation behavior of nanostructured Ce-doped V_2O_5 thin films*", Mater. Sci. Semicond. Process. 61 (2017) 99-106.

[18] Mousavi M., Khorrami Gh. H., Kompany A., Tabatabai Yazdi Sh., "*Structural, optical and electrochemical properties of F-doped vanadium oxide transparent semiconducting thin films*", Appl. Phys. A.123 (2017) 755(6).

[19] Mousavi M., Kompany A., Shahtahmasebi N. and Bagheri Mohagheghi M. M., "*Effect of S-doping on structural, optical and electrochemical properties of vanadium oxide thin films prepared by spray pyrolysis*", Phys. Scripta 88 (2013) 065701-065706.

[20] Acosta D., Pérez A., Magaña C. and Hernández F., "*V_2O_5 thin films deposited by RF magnetron sputtering: the influence of oxygen content in physical properties*", J. Mater. Sci. Eng. A 6 (2016) 81-87.

[21] Cullity B.D., "*Elements of X-ray Diffraction*", Addison-Wesley Publishing Company Inc., California, 1956.

[22] Iranmanesh P., Tabatabai Yazdi Sh., Mehran M., Saeednia S., "*Superior magnetic properties of Ni ferrite nanoparticles synthesized by capping agent-free one-step coprecipitation route at vanadium pentoxide films*" Mater. Sci. Eng. B. 52 (1998) 32-40.

[4] Bouzidi A., Benramdane N., Nakrela A., Mathieu C., Khelifa B., Desfeux R., and Da Costa A., "*First synthesis of vanadium oxide thin films by spray pyrolysis technique*", Mater. Sci. Eng. B 95 (2002) 141-147.

[5] Fujita Y., Miyazaki K., Tatsuyama C., Jpn., "*On the electrochromism of evaporated V_2O_5 films*", J. Appl. Phys 24 (1985) 1082-1086.

[6] Adarsh Rag S., Shivaram Sh., Deena S., Richards E.J., Dhayal Raj A., Kumar S.V., Thiyagarajan K, "*Optical and structural properties of V_2O_5 thin films Prepared by sol–gel dipping process*", J. NanoSci. Nanotechnol 1(2012) 3-6.

[7] Tamang R., Varghese B., Tok E.S., Mhaisalkar S., Sow C.H.," *Sub-band gap energy photoresponse of individual V_2O_5 nanowires*", Nanosci. Nanotechnol. Lett4 (2012) 716-719.

[8] Lu J., Hu M., Tian Y., Guo C., Wang C., Guo S., Liu Q, "*Fast visible light photoelectric switch based on ultralong single crystalline V_2O_5 nanobelt*", Opt. Exp 20 (2012) 6974-6979.

[9] Zhan S., Wei Y., Bie X., Wang C., Du F., Chen G., Hu F., "*Structural and electrochemical properties of Al^{3+} doped V_2O_5 nanoparticles prepared by an oxalic acid assisted soft chemicalmethod*", J. Alloys Compd 502 (2010) 92–96.

[10] Coustier F., Passerini S., Smyrl W. H., "*Dip-coated silver-doped V_2O_5 xerogel hosts as cathode materials for lithium intercalation*", J.Solid State Ionics 100 (1997) 247–258.

[11] Giorgetti M., Berrettoni M., Smyrl W.H., "*Doped V_2O_5-based cathode materials: where does the doping metal go? An X-ray absorption spectroscopy study.*", Chem. Mater **19** (2007) 5991–6000.

[12] Farcy J., Maingot S., Soudan P., Pereira-Ramos J.P., Baffier N., "*Electrochemical properties of the mixed oxide Fe0.11V2O5.16 as a Li intercalation compound*", Solid State Ionic 99 (1997) 61–69.

[13] Iida Y., Kanno Y., "*Doping effect of M (M = Nb, Ce, Nd, Dy, Sm, Ag, and/or Na) on the growth*

[24] R.D. Shannon, "*Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides*", Acta Crystallographica A32 (1976) 751-767.
[25] Sze S.M., "*Physics of Semiconductor Devices*", John Wiley and Sons New York (1981).
different pH values", Journal of Magnetism and Magnetic Materials 449 (2018) 172-179.
[23] Bagheri Mohagheghi M.M., Tabatabai Yazdi Sh., Mousavi M., "*Transport, structural and optical properties of SnO_2 transparent semiconductor thin films alloyed with chromium: Carrier type conversion*", J. Mater. Sci.: Mater. Electron. 28 (2017) 13328-13335.